@LIMENTECH CIENCIA Y TECNOLOGÍA ALIMENTARIA
ISSN Impreso 1692-7125/ ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 24 No. 1, p. 163 -185, año 2026
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Universidad de Pamplona

Efecto de Las Condiciones de Secado Solar en la Calidad Fisicoquímica y el Contenido de Compuestos Bioactivos en Residuos de Poscosecha de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.)

Effect of Solar Drying Conditions on the Physicochemical Quality and Bioactive Compound Content in Postharvest Basil (*Ocimum basilicum* L.) Residues.

Cortés Wilson[1], Sandoval-Aldana Angélica[2], Beltrán-Medina Isidro[3], López-Hernández Martha[4], Criollo Jenifer[5*]

[1]Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Programa de Ingeniería Agroindustrial. Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Tel: 2771212, Ibagué-Tolima. Colombia. Correo electrónico: wrcortesr@ut.edu.co; https://orcid.org/0009-0007-8795-6070

[2]Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Programa de Ingeniería Agroindustrial. Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Tel: 2771212, Ibagué-Tolima. Colombia. Correo electrónico: apsandovala@ut.edu.co; https://orcid.org/0000-0002-0850-6394

[3]Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de investigación Nataima – Km 9 vía – Espinal-Chicoral, Espinal-Tolima. Colombia. Correo electrónico: jibeltran@agrosavia.co; https://orcid.org/0000-0002-3395-4877

[4]Universidad del Tolima, Facultad de Ingeniería Agronómica, Grupo Interdisciplinario de Investigación en Fruticultura Tropical, Tel: 2771212, Ibagué-Tolima. Colombia. Correo electrónico: mdlopez@ut.edu.co; https://orcid.org/0000-0002-4214-0306

*[5] Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de investigación Nataima – Km 9 vía – Espinal-Chicoral, Espinal-Tolima. Colombia. *Correo electrónico: jcriollo@agrosavia.co; https://orcid.org/0000-0002-1623-4966*

Recibido: 20/abril/2026 ; Aprobado: 18 mayo/2026; Publicado: 30/junio/2026

RESUMEN

Se evaluó el efecto de las condiciones de secado solar sobre las propiedades fisicoquímicas y los compuestos bioactivos de residuos de poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). El secado se realizó en una estructura tipo marquesina bajo

dos condiciones: i) exposición solar directa y ii) secado con polisombra del 65%. Durante el proceso se monitorearon variables de humedad y actividad de agua (a_w), la calidad del producto deshidratado se evaluó mediante la determinación de actividad antioxidante, contenido fenólico total, fracción volátil, índice de color (IC^*) y composición bromatológica. Los resultados evidenciaron que las condiciones de secado influyeron significativamente en la calidad final de la albahaca deshidratada. El tratamiento bajo polisombra presentó una mayor conservación de los compuestos bioactivos, mejores características de color y mayor estabilidad fisicoquímica en comparación con el secado bajo exposición solar directa. Asimismo, ambos tratamientos alcanzaron valores de $a_w < 0{,}6$ considerados adecuados para la conservación microbiológica del producto. Los hallazgos obtenidos demuestran que el secado solar bajo polisombra constituye una alternativa viable y de bajo costo para el aprovechamiento de residuos de poscosecha de albahaca, contribuyendo a la valorización de subproductos agroindustriales y a la reducción del impacto ambiental asociado a las pérdidas poscosecha.

Palabras clave: Actividad antioxidante, polisombra, propiedades fisicoquímicas, residuos poscosecha.

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia Jenifer Criollo E-mail: jcriollo@agrosavia.co

Como citar: Cortés, W., Sandoval-Aldana, A., Beltran-Medina I., López-Hernández, M., & Criollo, J. (2026). Efecto de las condiciones de secado solar en la calidad fisicoquímica y el contenido de compuestos bioactivos en residuos de poscosecha de albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *@limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria*, Volumen(Número), páginas. https://doi.org/10.24054/limentech

ABSTRACT

The effect of solar drying conditions on the physicochemical properties and bioactive compounds of postharvest basil (*Ocimum basilicum* L.) residues was evaluated. Drying was carried out in a greenhouse-type structure under two conditions: i) direct solar exposure and ii) drying under 65%

shade cloth. During the process, moisture content and water activity (a_w) were monitored. The quality of the dehydrated product was assessed through the determination of antioxidant activity, total phenolic content, volatile fraction, color index (CI*), and bromatological composition. The results showed that the drying conditions significantly influenced the final quality of the dehydrated basil. The treatment under shade cloth exhibited greater preservation of bioactive compounds, better color characteristics, and higher physicochemical stability compared to drying under direct solar exposure. Likewise, both treatments reached a_W values below $a_W < 0{,}6$, which are considered adequate for the microbiological preservation of the product. The findings demonstrate that solar drying under shade cloth constitutes a viable and low-cost alternative for the utilization of postharvest basil residues, contributing to the valorization of agro-industrial by-products and the reduction of the environmental impact associated with postharvest losses.

Key words: Antioxidant activity, Physicochemical properties, Postharvest residues, Shade cloth.

INTRODUCCIÓN

La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) ha sido utilizada desde la antigüedad para el tratamiento de diversas afecciones de salud, entre ellas cáncer, temblores, disentería, trastornos mentales, inflamación, desequilibrios biliares, caries dental y bronquitis (Brindisi y Simon, 2023). Estas propiedades tradicionales han sido respaldadas por múltiples estudios que evidencian su actividad analgésica y antiinflamatoria (Eftekhar et al., 2019 ; Aye et al., 2019), antimicrobiana (A Nugroho et al., 2019; Helal et al., 2019; Fernandes et al., 2019; Sani et al., 2018; Hmad et al., 2016), antioxidante (Nazir et al., 2019; Anand et al., 2019; Morshedy et al., 2019; Karaali et al., 2019) y antiulcerogénica (El-Ghffar et al., 2018), entre otras. Asimismo, se han reportado efectos quimiomoduladores, hepatoprotectores, antiasmáticos, hipoglucemiantes, hipolipidémicos, antihipertensivos, cardioprotectores, inmunomoduladores y anticancerígenos (Shakeri et al., 2019; Jahejo et al., 2019; Rehan et al., 2019; Torres et al., 2018;), lo que resalta su potencial como fuente de compuestos bioactivos de interés industrial y farmacológico.

A nivel global, aproximadamente el 40% de la producción de plantas aromáticas se destina a la industria alimentaria, tanto en productos frescos como procesados. En este contexto, la albahaca se posiciona como una de las especies más utilizadas; sin embargo, presenta importantes pérdidas poscosecha debido a factores como el deterioro microbiológico y los daños ocasionados por bajas temperaturas durante el almacenamiento (Teerarak et al., 2020).

En el ámbito agroindustrial, la sostenibilidad ambiental y el aprovechamiento eficiente de los recursos se han convertido en prioridades. En este sentido, la valorización de residuos de plantas aromáticas emerge como una alternativa para la obtención de materias primas de alto valor agregado. En el caso de la albahaca, dichos residuos han sido empleados en procesos como el compostaje y la producción de biogás (Jara-Samaniego et al., 2017; Kulkarni & Ghanegaonkar, 2019), con beneficios tanto ambientales como económicos. No obstante, las tecnologías de conservación más

comunes, como la deshidratación y la congelación, pueden generar pérdidas de compuestos volátiles, así como alteraciones en el sabor, color, textura y valor nutricional, afectando la calidad final del producto (García-Rincón, et al., 2024; Bušić et al., 2014).

En Colombia, la albahaca es considerada un cultivo promisorio debido a su potencial económico. Según Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural - Agronet. (2023), en la Evaluación Agropecuaria Municipal (EVA) en el año 2023, la producción fue de 1.434 ton. Los principales productores son los departamentos de Tolima (71,00%), Cundinamarca (25,42%), Nariño (2,64%) y Huila (0,94%). Actualmente, la albahaca en Colombia se vende y se exporta en 2 diferentes productos: hojas de albahaca fresca y seca. Esta producción está orientada a mercados internacionales que demandan altos estándares de calidad, especialmente para albahaca fresca certificada como orgánica. Como consecuencia, cerca del 50% de la producción se descarta durante la poscosecha, generando residuos que representan un impacto ambiental considerable.

Diversos estudios han evaluado métodos de secado aplicados a la albahaca, incluyendo liofilización, secado al sol, secado convectivo (Chaves et al., 2022) y secado por microondas (Altay et al., 2024), secador solar hibrido (Khater et al., 2024), a la sombra (Mieso et al., 2022), secador solar indirecto (Al-Hamdani et al., 2022) demostrando que las condiciones de secado influyen significativamente en la conservación de compuestos bioactivos, aceites esenciales y atributos de calidad.

En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el efecto del secado solar por exposición directa y bajo polisombra (65%) sobre la calidad bioactiva de residuos de poscosecha de albahaca.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las hojas de albahaca se recolectaron de los residuos generados en la etapa de postcosecha y se trasladaron al centro de investigación Nataima, donde fueron deshojados y deshidratados.

Se evaluaron dos condiciones de secado solar: i) exposición solar directa y ii) secado bajo polisombra del 65% instalada sobre la estructura de secado. En la condición de exposición directa se registraron temperaturas máximas de 63,9 °C durante el día, mientras que el uso de polisombra permitió disminuir la temperatura interna del sistema, alcanzando un valor máximo de 54,4 °C durante el proceso de deshidratación.

El secado se realizó en una marquesina con dimensiones de 4 m de largo × 2 m de ancho y capacidad promedio para 5 kg de hojas frescas de albahaca. Durante el proceso se monitorearon continuamente la temperatura y la humedad relativa del sistema mediante dataloggers instalados en el interior de la estructura.

El seguimiento de la cinética de secado se efectuó hasta alcanzar contenidos de humedad inferiores al 13%. Para ello, se realizaron mediciones horarias de pérdida de peso, contenido de humedad y a_W entre las 08:00 y las 16:00 h durante todo el proceso de deshidratación.

Caracterización fisicoquímica

Actividad de agua (a_W): se determinó tomando 4 g de muestra usando el analizador de actividad acuosa (ROTRONIC HP23-AW-A, Suiza).

Humedad: se cuantificó mediante método gravimétrico, haciendo uso de una balanza de humedad por infrarrojo (PRECISA HA 300).

Índice de color (IC*): con base en la escala de color CIELAB de color, se midieron las variables L, a y b con un colorímetro (Konica Minolta), se calculó el índice de color (IC*) usando la siguiente ecuación:

$$IC^* = \frac{a * 1000}{L * b}$$

Donde,

L: Proporciona un valor de la Luminancia de la muestra.

a: Indica la zona de variación entre el rojo y el verde del espectro.

b: Calcula la zona de variación entre el amarillo y el azul del espectro.

Caracterización funcional

Preparación del extracto: Se maceraron 10 g de albahaca seca correspondientes a cada tratamiento en presencia de nitrógeno líquido. Posteriormente, se tomó 1 g de muestra y se depositó en tubos Falcon de 50 mL. A cada tubo se adicionaron 15 mL de etanol al 80% como solvente de extracción. La extracción se realizó bajo condiciones de protección a la luz, mediante agitación en shaker a 100 rpm durante 2 h sobre banco de hielo. Finalizado el proceso de extracción, las muestras fueron centrifugadas a 6000 rpm durante 20 min a 25 °C y el sobrenadante obtenido fue separado. Finalmente, el sobrenadante se filtró y almacenó en tubos ámbar para su posterior análisis.

Capacidad antioxidante (AA): se determinó mediante el método del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH), siguiendo la metodología descrita por Purkiewicz & Pietrzak-Fiećko (2021), con algunas modificaciones. Para el análisis, se mezclaron 120 µL del extracto con 1800 µL de una solución de DPPH a 100 µM. La mezcla se homogenizó y se mantuvo en reposo, protegida de la luz, durante 30 min a temperatura ambiente para permitir la reacción. Posteriormente, se registró la absorbancia a 517 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Vis. La capacidad antioxidante se cuantificó mediante una curva de calibración elaborada con Trolox como estándar y los resultados se expresaron como mg equivalentes de Trolox por 100 g de muestra seca (mg trolox / 100 g MS). Adicionalmente, el porcentaje de inhibición del radical DPPH se calculó a partir de los valores de absorbancia, representando la capacidad del extracto para neutralizar radicales libres, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$\%\, Inhibición = \%I = \frac{A - A_1}{A} * 100$$

A= Absorbancia del DPPH

A1= Absorbancia de la muestra

Contenido fenólico total: se determinó mediante el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu, de acuerdo con la metodología descrita por Singleton & Rossi Jr (1965), con algunas modificaciones. Para la cuantificación, se elaboró una curva de calibración utilizando soluciones estándar de ácido gálico (Acros Organics) en concentraciones de 2, 3, 4, 5, 6 y 7 µg/mL. Para el análisis, se mezclaron 100 µL del

extracto previamente diluido con 2100 µL de agua destilada y 350 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 1 N. La mezcla se homogenizó en vortex durante 30 s y se dejó en reposo durante 5 min a temperatura ambiente. Posteriormente, se adicionaron 700 µL de Na_2CO_3 y las muestras se incubaron en oscuridad durante 2 h. Finalizado el tiempo de reacción, se registró la absorbancia a 765 nm empleando un espectrofotómetro UV-Vis. Todos los análisis se realizaron por triplicado y los resultados se calcularon a partir de la ecuación obtenida de la curva de calibración de ácido gálico, expresándose como mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de muestra seca (mg GAE/ 100 g MS).

Fracción volátil: para la identificación presuntiva de los compuestos se utilizó cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas operada en el modo de full scan (gc/ms). La identificación presuntiva de los compuestos registrados en las muestras se basó en sus espectros de masas (EI, 70 eV), patrones de fragmentación, usando las bases de datos de Adams, Wiley y NIST y sustancias de referencia disponibles.

Análisis bromatológico: la determinación del contenido de humedad se realizó de acuerdo con la norma ISO 6496:2009 / NTC 4888:2000. El contenido de cenizas se determinó siguiendo el método AOAC 942.05 (21st ed., 2019), mientras que el extracto etéreo se cuantificó mediante el método AOAC 2003.06 (21st ed., 2019). La determinación de proteína cruda se efectuó conforme al método AOAC 960.52 (21st ed., 2019). Por su parte, el contenido de fibra cruda se evaluó siguiendo un procedimiento interno establecido por el Laboratorio de Química Analítica de AGROSAVIA.

Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado, con excepción del análisis de fracción volátil y del análisis bromatológico. La dinámica de pérdida de peso, contenido de humedad y a_w durante el proceso de secado se evaluó de manera descriptiva y se representó gráficamente en función del tiempo. Se empleó un diseño completamente aleatorizado y las variables de respuesta fueron analizadas mediante análisis de varianza (ANOVA). Cuando se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se aplicó la prueba de comparación de

medias de Tukey con un nivel de significancia de P<0,05. El procesamiento y análisis estadístico de los datos se realizó utilizando el software Infostat versión 2020.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dinámica de la humedad y a_w

El contenido de humedad inicial de las hojas de albahaca osciló entre 85,04 y 89,84 %. En la Figura 1 se presentan los valores promedio de humedad y a_w en función del tiempo de secado para las condiciones de exposición solar directa y secado bajo polisombra. Se observaron diferencias estadísticamente significativas (p<0,05) en el contenido de humedad a partir de las 7 h de secado, registrándose valores de 58,11 % y 72,64 % para la albahaca secada bajo exposición directa y bajo polisombra, respectivamente. Durante el secado por exposición solar directa, la temperatura interna del sistema osciló entre 27 y 63,9 °C, con una humedad relativa promedio de 44,4 %, alcanzándose el contenido de humedad final después de 49 h de secado. Por su parte, el sistema con polisombra presentó temperaturas entre 24,7 °C y 54,4 °C y una humedad relativa promedio de 48,3 %, requiriéndose 55 h para alcanzar un contenido de humedad cercano al 15 %. La a_w presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos a partir de las 26 h de secado (p<0,05). No obstante, los valores finales de a_w y contenido de humedad no mostraron diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey, conformando un mismo grupo estadístico. La técnica de secado solar empleada no permitió reducir el contenido de humedad por debajo del 15 %, debido a fenómenos de rehidratación asociados al incremento de la humedad relativa durante las horas nocturnas. Sin embargo, los valores finales de a_w fueron inferiores a 0,6, límite considerado seguro para inhibir el crecimiento de bacterias, levaduras y hongos en alimentos, según lo reportado por (Forsythe, 2011). Adicionalmente los valores obtenidos de a_w fueron similares a los reportados por (Al-Hamdani et al., 2022b). La humedad final de la albahaca fue de 14 % y 15 % para los tratamientos de exposición

directa y polisombra, respectivamente, valores que se encuentran dentro del rango recomendado (8–15 %) para conservar la porosidad y textura de plantas aromáticas deshidratadas, de acuerdo con Rocha et al. (2011).

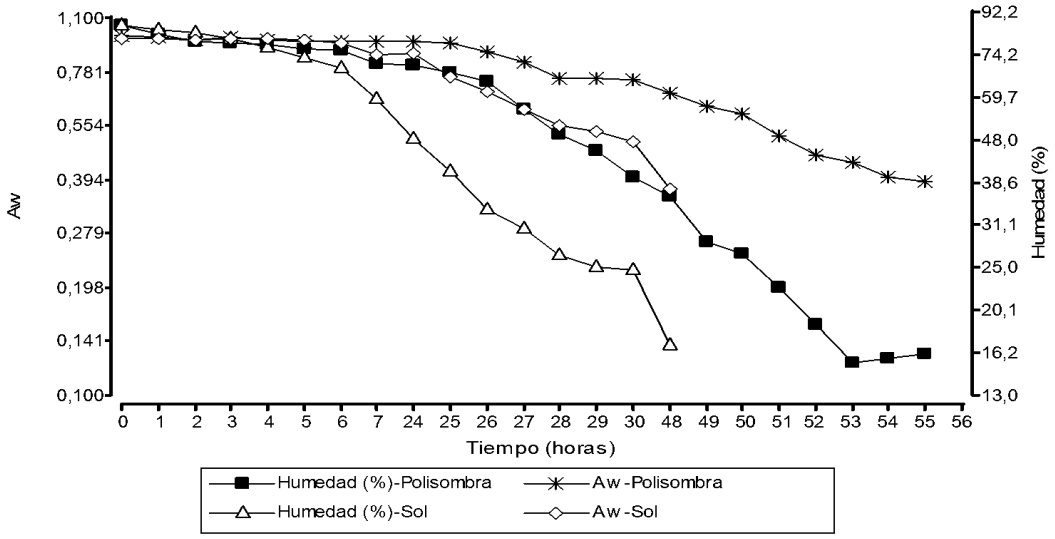

Figura 1. *Dinámica de la a_W y Humedad de la albahaca secada por marquesina.*

Actividad antioxidante y contenido fenólico total

El análisis de la capacidad antioxidante y del contenido fenólico en la albahaca durante los procesos de secado evidencia que ambos tratamientos (exposición directa al sol y secado bajo polisombra) permitieron conservar compuestos bioactivos relevantes, aunque con dinámicas distintas (Figura 2). La tendencia ascendente de la capacidad antioxidante puede explicarse por la concentración de metabolitos al reducirse la humedad, lo que coincide con estudios previos que señalan que la deshidratación favorece la disponibilidad relativa de antioxidantes en matrices vegetales. El valor máximo alcanzado bajo polisombra (321,38 mg trolox / 100 g muestra) resulta comparable con los reportados por (Mahmoud et al., 2022), lo que sugiere que este método de secado reproduce condiciones similares a las del secado al aire, con ventajas en la preservación de la actividad antioxidante. Por otro lado, el comportamiento de los fenoles totales muestra un pico temprano en el tratamiento

con sol directo (363,21 mg GA / 100 g MS), seguido de un descenso hacia el final del proceso. Este patrón podría estar asociado a la degradación térmica de ciertos compuestos fenólicos sensibles a la radiación solar, lo que explica la reducción en la concentración final (303,86 mg GA / 100 g MS). Sin embargo, la ausencia de diferencias significativas respecto al tratamiento con polisombra indica que ambos métodos son viables para conservar un nivel considerable de fenoles en la albahaca seca. Estos resultados resaltan la importancia de seleccionar el método de secado según el objetivo: mientras la polisombra favorece la estabilidad de la capacidad antioxidante, la exposición solar puede potenciar transitoriamente la acumulación de fenoles, aunque con riesgo de degradación posterior. En términos prácticos, cualquiera de los tratamientos asegura un producto con propiedades funcionales destacables, lo que abre posibilidades para su aprovechamiento en la industria alimentaria y en la elaboración de fitoproductos.

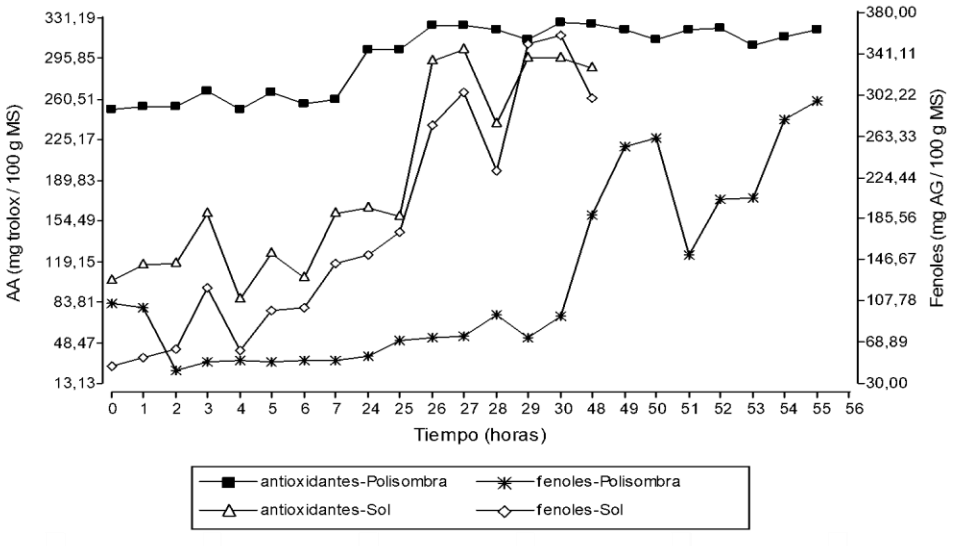

Figura 2. *Actividad antioxidante (AA) y contenido fenólico total de la albahaca deshidratada por marquesina.*

Color. El color es un atributo sensorial que determina la aceptación y calidad de los productos deshidratados, ya que influye directamente en la percepción de frescura y valor comercial. En este estudio, los índices

de color (IC*) mostraron diferencias estadísticamente significativas a partir de las siete horas de secado. Para el tratamiento con exposición directa al sol se obtuvo un IC*= 11,53 ± 0,66, correspondiente a tonalidades café/naranja, mientras que bajo polisombra se registró un IC*= 5,94 ± 0,66, asociado a un tono café más tenue (Figura 3).

Este comportamiento puede explicarse por la prolongada exposición al calor y la radiación solar, que aceleran la degradación de pigmentos fotosintéticos como clorofilas y carotenoides, afectando la percepción organoléptica de la albahaca seca. Estos resultados son consistentes con lo reportado por (Eskandarzade et al., 2023), quienes demostraron que la intensidad lumínica afecta la concentración de pigmentos en albahaca, generando mayor riesgo de fotoinhibición y degradación bajo radiación intensa. De manera similar, (Altay et al., 2024) encontraron que los métodos de secado a temperaturas elevadas reducen significativamente el contenido de antocianinas y la actividad antioxidante, alterando el color y la calidad sensorial de hierbas aromáticas. Asimismo, estudios recientes señalan que el aumento de la temperatura de secado acelera la pérdida de clorofilas y oscurece las hojas de albahaca, confirmando que el color es un parámetro altamente sensible a las condiciones térmicas.

En términos prácticos, la exposición solar directa acelera el proceso de secado, pero compromete la estabilidad del color, generando tonalidades marrones menos atractivas para el consumidor. Por el contrario, el secado bajo polisombra, aunque más lento, preserva mejor la apariencia verde característica de la albahaca, lo que incrementa su aceptación sensorial y su valor comercial.

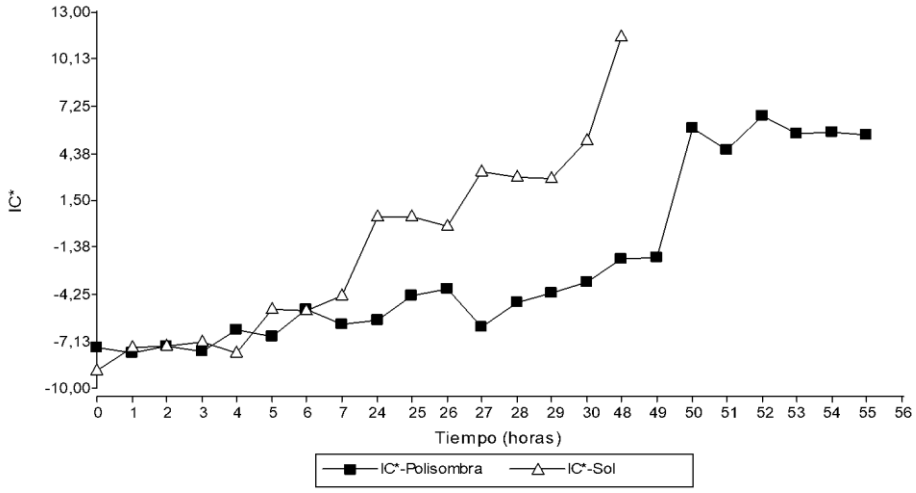

Figura 3. *Comportamiento del IC* de la albahaca durante el secado por marquesina.*

Fracción volátil

El análisis de los compuestos volátiles identificados de manera presuntiva permitió reconocer un total de 64 metabolitos, entre los cuales destacan aquellos asociados al perfil aromático característico de la albahaca. Los compuestos de mayor presencia en ambos tratamientos fueron: 1,8-Cineol (6,9% y 4,3%), Linalool (24,7% y 21,4%), Estragol (8,2% y 15,8%), β-Elemeno (3,7–3,2%), α-Humuleno (4,1–4,7%), Germacreno D (5,8–4,2%), Ɣ-Cadineno (5,7–6%) y epi-α-Cadinol (4,8–8,1%) para la albahaca seca por exposición directa y bajo polisombra, respectivamente.

La mayor concentración de 1,8-Cineol y Linalool en el tratamiento a plena exposición solar confiere un aroma herbal cítrico con notas de eucalipto, además de aportar actividades antioxidantes, antibacterianas y antifúngicas, ampliamente reconocidas en la industria farmacéutica (Du et al., 2023). Por su parte, el secado bajo polisombra favoreció una mayor presencia de epi-α-Cadinol y Estragol, compuestos asociados a aromas amaderados y mentolados, que contribuyen a la complejidad sensorial del producto final (Calín-Sánchez et al., 2012). Estos resultados sugieren que el tipo de secado no solo influye en la concentración de compuestos bioactivos, sino también en el

perfil aromático y organoléptico de la albahaca seca. La exposición directa al sol potencia la formación de metabolitos con propiedades farmacológicas relevantes, mientras que la polisombra preserva compuestos que enriquecen la diversidad aromática, lo que puede ser ventajoso para aplicaciones culinarias y gastronómicas. Estudios recientes han confirmado que las condiciones de secado modifican significativamente la composición volátil de las hierbas aromáticas. Por ejemplo, (Du et al., 2023) reportaron que el contenido de 1,8-Cineol y Linalool en albahaca seca está directamente relacionado con la intensidad de la radiación y la temperatura, mientras que (Calín-Sánchez et al., 2012) demostraron que técnicas de secado más suaves preservan mejor compuestos como Estragol y epi-α-Cadinol, responsables de notas aromáticas más complejas. Estos hallazgos respaldan la idea de que la elección del método de secado debe considerar tanto la conservación de compuestos funcionales como la calidad sensorial del producto final.

Tabla 1. *Compuestos volátiles identificados en el residuo de albahaca seca por marquesina.*

N°	Compuesto	Tratamiento	
		Sol	Polisombra
1	Ácido acético	0,5	N.I.
2	α-pineno	0,3	0,2
3	Benzaldehido	N.I.	0
4	Sabineno	0,3	0,2
5	β-Pineno	0,7	0,4
6	β-Mirceno	0,2	0,2
7	Limoneno	0,1	0,1
8	1,8-Cineol	6,9	4,3
9	trans-β-Ocimeno	0,2	0,2
10	Ɣ-Terpineno	0,1	N.I.
11	cis-Oxido de linalol	1,3	N.I.
12	Carbonato de 2-(5metil-5-viniltetrahidrofuran-2-il) propan-2-ilo de etilo	0,9	N.I.
13	Linanol	24,7	21,4
14	Hotrienol	N.I.	0,1
15	Feniletanol	0,1	*tr.*
16	Alcanfor	0,4	0,1
17	trans-Oxido de linalol	0,1	N.I.
18	δ-Terpineol	0,3	0,2
19	cis-oxido de linanol	0,2	N.I.
20	2,6-Dimetil-octa-3,7-dieno-2,6-diol	0,6	0,2

Continuación Tabla 2. *Compuestos volátiles identificados en el residuo de albahaca seca por marquesina.*

21	**Estragol**	**8,2**	**15,8**
22	Acetato de octilo	0,6	0,4
23	Metiletilmaleimida	N.I.	0,1
24	Hidroxicineol	0,2	N.I.
25	3-exo-Hidroxi-1,8-cineol	0,2	N.I.
26	Chavicol	0,3	0,3
27	2,6-Dimethyl-octa-1,7-dien-3,6-diol	0,2	0,1
28	Acetato de bornilo	0,3	0,1
29	cis-Cinnamato de metilo	0,4	N.I.
30	Bicloelemeno	0,8	N.I.
31	Acetato de 3-exo-hidroxi-1,8-cineilo	0,4	N.I.
32	α-Cubebeno	0,4	N.I.
33	Eugenol	2,5	2,8
34	α-Copaeno	0,8	0,5
35	trans-Cinnamato de metilo	2,1	N.I.
36	β-Borboneno	1,1	0,5
37	β-Elemeno	3,7	3,2
38	Metileugenol	0,6	1,2
39	β-Ylangeno	N.I.	0,3
40	trans-β-Cariofileno	1,5	1
41	trans-α-Bergamoteno	1,8	1,4
42	α-Guaieno	1,4	1,1
43	trans-β-Farmeseno	N.I.	0,7
44	Dauca-5,8-dieno	0,8	N.I.
45	α-Humuleno	4,1	4,7
46	Muurola-4,14(5)-dieno	1,4	1,3
47	trans-β-Ionona	0,6	N.I.
48	ϒ-curcumeno	N.I.	0,4
49	Germacreno D	5,8	4,2
50	β-Selineno	0,4	N.I.
51	Biciclogermacreno	2,9	2,1
52	α-Bulneseno	2	1,6
53	ϒ-Cadineno	5,7	6
54	δ-Cadineno	N.I.	0,3
55	Calameneno	0,9	0,8
56	trans-Nerolidol	1	1,9
57	Espatulenol	2,1	3,8
58	Epoxido de humuleno II	0,7	1,3
59	1,10-di-epi-Cubenol	1,3	1,7
60	epi-α-Cadinol	4,8	8,1
61	α-Cadinol	N.I.	0,4
62	β-Eudesmol	0,2	0,6
63	6,10,14-trimetil-pentadecan-2-ona	N.I.	,1
64	sulfato de menta	N.I.	,2

N.I.: No identificado. *tr.* Trazas (<0,1%)

Análisis bromatológico

El análisis proximal realizado a las muestras secas de albahaca evidencia que la técnica de secado con polisombra favorece la conservación de nutrientes esenciales, registrando mayores contenidos de proteína cruda (22,19%) y fibra cruda (13,44%) en comparación con la exposición directa al sol. Este resultado sugiere que la regulación de la temperatura interna mediante la polisombra reduce el estrés térmico y la degradación de macromoléculas, lo que coincide con estudios recientes que destacan la importancia de condiciones moderadas de secado para preservar la calidad nutricional de hierbas aromáticas (Orphanides et al., 2016); (Calín-Sánchez et al., 2020).

En cuanto a las variables de humedad, ceniza y extracto etéreo, las diferencias entre tratamientos fueron mínimas (0,32%, 1,03% y 0,52%, respectivamente), lo que indica que ambos métodos permiten obtener un producto estable desde el punto de vista de conservación. Sin embargo, la polisombra mostró ventajas adicionales al mantener mejor la integridad de proteínas y fibras, nutrientes clave para el valor funcional de la albahaca seca.

Estos hallazgos refuerzan la idea de que la implementación de polisombra en sistemas de secado constituye una estrategia económica, fácil de implementar y ambientalmente sostenible, que no solo mejora la calidad sensorial (actividad antioxidante y color IC*), sino también la calidad nutricional del producto final. (Chua et al., 2019) demostraron que técnicas de secado más suaves preservan mejor los compuestos bioactivos y la calidad organoléptica. Por su parte (Altay et al., 2024) reportaron que la regulación de temperatura durante el secado de albahaca favorece la retención de proteínas y metabolitos secundarios con actividad biológica. De acuerdo con lo anterior, el secado con polisombra se presenta como una alternativa viable para el aprovechamiento de residuos de postcosecha de albahaca, garantizando un producto con propiedades funcionales y nutricionales destacables, apto para aplicaciones en la industria alimentaria, farmacéutica y gastronómica.

Tabla 3. *Composición proximal de albahaca seca por marquesina.*

Tratamiento	Humedad	Ceniza	Extracto etéreo	Proteína cruda	Fibra cruda
Sol	4,33	17,74	2,99	13,44	11,48
Polisombra	4,65	16,71	2,47	22,19	13,69

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos evidenciaron que las condiciones de secado solar influyen significativamente en la calidad fisicoquímica y bioactiva de los residuos de poscosecha de albahaca. La implementación de polisombra del 65% sobre la estructura de secado permitió una disminución de la temperatura máxima alcanzada durante el proceso, favoreciendo la conservación de compuestos sensibles al calor y mejorando parámetros como la actividad antioxidante, el índice de color IC*, el contenido de proteína cruda y fibra cruda en comparación con el secado bajo exposición solar directa. Aunque ambas condiciones de secado permitieron alcanzar valores de a_W inferiores a 0,6, considerados microbiológicamente seguros para el almacenamiento, el tratamiento bajo polisombra presentó mejores características de calidad asociadas a la estabilidad de compuestos bioactivos y atributos fisicoquímicos del material deshidratado. En este sentido, el secado solar bajo polisombra constituye una alternativa sostenible, de bajo costo y fácil implementación para el aprovechamiento de residuos de poscosecha de albahaca, contribuyendo a la valorización de subproductos agroindustriales y a la reducción del impacto ambiental generado por las pérdidas durante la cadena productiva.

FINANCIACION

Esta investigación se desarrolló en el marco del proyecto “Implementación de alternativas de manejo agronómico, poscosecha y de inocuidad en el sistema productivo de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) para el cierre de brechas en los municipios de Honda, Mariquita y Espinal en el departamento del Tolima”, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) y la Universidad del Tolima, bajo el convenio 2094-01 y financiado por el Sistema General de Regalías a través de MINCIENCIAS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmad, K., Khalil, A. T., Yusra, & Somayya, R. (2016). Antifungal, phytotoxic and hemagglutination activity of methanolic extracts of *Ocimum basilicum*. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 36(6), 794–798. https://doi.org/10.1016/S0254-6272(17)30017-1

Al-Hamdani, A., Jayasuriya, H., Pathare, P. B., & Al-Attabi, Z. (2022). Drying characteristics and quality analysis of medicinal herbs dried by an indirect solar dryer. *Foods*, 11(24), Artículo 4103. https://doi.org/10.3390/foods11244103

Altay, K., Dirim, S. N., & Hayaloglu, A. A. (2024). Effects of different drying processes on the quality changes in Arapgir purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves and drying-induced changes in bioactive and volatile compounds and essential oils. *Journal of Food Science*, 89(12), 9088–9107. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17515

Anand, T., Sundararajan, M., Anbukkarasi, M., Thomas, P., & Geraldine, P. (2019). A methanolic extract of *Ocimum basilicum* exhibits antioxidant effects and prevents selenite-induced cataract formation in cultured lenses of Wistar rats. *Pharmacognosy Journal*, 11(3), 496–504. https://doi.org/10.5530/pj.2019.11.79

Aye, A., Jeon, Y.-D., Lee, J.-H., Bang, K.-S., & Jin, J.-S. (2019). Anti-inflammatory activity of ethanol extract of leaf and leaf callus of basil (*Ocimum basilicum* L.) on RAW 264.7 macrophage cells. *Oriental Pharmacy and Experimental Medicine*, 19(2), 217–226. https://doi.org/10.1007/s13596-019-00372-2

Brindisi, L. J., & Simon, J. E. (2023). Preharvest and postharvest techniques that optimize the shelf life of fresh basil (*Ocimum basilicum* L.): A review. *Frontiers in Plant Science*, 14, Artículo 1237577. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1237577

Bušić, A., Vojvodić, A., Komes, D., Akkermans, C., Belščak-Cvitanović, A., Stolk, M., & Hofland, G. (2014). Comparative evaluation of CO2 drying as

an alternative drying technique of basil (*Ocimum basilicum* L.)—The effect on bioactive and sensory properties. *Food Research International*, 64, 34–42. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.013

Calín-Sánchez, Á., Lech, K., Szumny, A., Figiel, A., & Carbonell-Barrachina, Á. A. (2012). Volatile composition of sweet basil essential oil (*Ocimum basilicum* L.) as affected by drying method. *Food Research International*, 48(1), 217–225. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.03.015

Calín-Sánchez, Á., Lipan, L., Cano-Lamadrid, M., Kharaghani, A., Masztalerz, K., Carbonell-Barrachina, Á. A., & Figiel, A. (2020). Comparison of traditional and novel drying techniques and its effect on quality of fruits, vegetables and aromatic herbs. *Foods*, 9(9), Artículo 1261. https://doi.org/10.3390/foods9091261

Chaves, R. P. F., Araújo, A. L. de, Lopes, A. S., & Pena, R. da S. (2022). Convective drying of purple basil (*Ocimum basilicum* L.) leaves and stability of chlorophyll and phenolic compounds during the process. *Plants*, 12(1), Artículo 127. https://doi.org/10.3390/plants12010127

Chua, L. Y. W., Chong, C. H., Chua, B. L., & Figiel, A. (2019). Influence of drying methods on the antibacterial, antioxidant and essential oil volatile composition of herbs: A review. *Food and Bioprocess Technology*, 12(3), 450–476. https://doi.org/10.1007/s11947-018-2227-x

Du, P., Yuan, H., Chen, Y., Zhou, H., Zhang, Y., Huang, M., Ye, J., Su, R., Chen, Q., & Lai, J. (2023). Identification of key aromatic compounds in basil (*Ocimum* L.) using sensory evaluation, metabolomics and volatilomics analysis. *Metabolites*, 13(1), Artículo 85. https://doi.org/10.3390/metabo13010085

Eftekhar, N., Moghimi, A., Hossein Boskabady, M., Kaveh, M., & Shakeri, F. (2019). *Ocimum basilicum* affects tracheal responsiveness, lung inflammatory cells and oxidant–antioxidant biomarkers in sensitized rats. *Drug and Chemical Toxicology*, 42(3), 286–294. https://doi.org/10.1080/01480545.2018.1459672

El-Ghffar, E. A. A., Al-Sayed, E., Shehata, S. M., Eldahshan, O. A., & Efferth, T. (2018). The protective role of *Ocimum basilicum* L. (basil) against aspirin-induced gastric ulcer in mice: Impact on oxidative stress, inflammation, motor deficits and anxiety-like behavior. *Food & Function*, 9(8), 4457–4468. https://doi.org/10.1039/C8FO00538A

Eskandarzade, P., Zare Mehrjerdi, M., Didaran, F., Gruda, N. S., & Aliniaeifard, S. (2023). Shading level and harvest time affect the photosynthetic and physiological properties of basil varieties. *Agronomy*, 13(10), Artículo 2478. https://doi.org/10.3390/agronomy13102478

Fernandes, F., Pereira, E., Círić, A., Soković, M., Calhelha, R. C., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2019). *Ocimum basilicum* var. *purpurascens* leaves (red rubin basil): A source of bioactive compounds and natural pigments for the food industry. *Food & Function*, 10(6), 3161–3171. https://doi.org/10.1039/C9FO00578A

Forsythe, S. J. (2011). *The microbiology of safe food* (2.ª ed.). Wiley-Blackwell.

García-Rincón, Paola Andrea, Rodríguez-Pérez, Wilson, Hermosa-Otero Andrea, Núñez-Ramírez José Manuel. (2024). Evaluación Del Rendimiento de Grano de Cacao (*Theobroma cacao L*) Fermentado Mediante Secado Por Aspersión. Revista @limentech, Ciencia y Tecnología Alimentaria. ISSN Impreso 1692-7125 - ISSN Electrónico 2711-3035. Volumen 22 N° 2. Pp: 37 – 46. https://doi.org/10.24054/limentech.v22i2.3606

Helal, I. M., El-Bessoumy, A., Al-Bataineh, E., Joseph, M. R. P., Rajagopalan, P., Chandramoorthy, H. C., & Ben Hadj Ahmed, S. (2019). Antimicrobial efficiency of essential oils from traditional medicinal plants of Asir Region, Saudi Arabia, over drug resistant isolates. *BioMed Research International*, 2019, Artículo e8928306. https://doi.org/10.1155/2019/8928306

Jahejo, A. R., Rajput, N., Tian, W., Naeem, M., Kalhoro, D., Kaka, A., Niu, S., & Jia, F. (2019). Immunomodulatory and growth promoting effects of basil (*Ocimum basilicum*) and ascorbic acid in heat stressed broiler chickens. *Pakistan Journal of Zoology*, 51(3), 801–807.

https://doi.org/10.17582/journal.pjz/2019.51.3.801.807

Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Gavilanes-Terán, I., López, M., Marhuenda-Egea, F. C., Brito, H., & Moral, R. (2017). Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador. *PLoS ONE*, 12(7), Artículo e0181621. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181621

Karaali, H. F., Fahmi, R. R., & Borjac, J. M. (2019). Effect of *Ocimum basilicum* leaves extract on acetaminophen-induced nephrotoxicity in BALB/c mice. *Journal of Complementary and Integrative Medicine*, 16(2), Artículo 20180111. https://doi.org/10.1515/jcim-2018-0111

Khater, E.-S. G., Bahnasawy, A. H., Oraiath, A. A. T., Alhag, S. K., Al-Shuraym, L. A., Moustapha, M. E., Elwakeel, A. E., Elbeltagi, A., Salem, A., & Metwally, K. A. (2024). Assessment of a LPG hybrid solar dryer assisted with smart air circulation system for drying basil leaves. *Scientific Reports*, 14(1), Artículo 23922. https://doi.org/10.1038/s41598-024-75463-x

Kulkarni, M. B., & Ghanegaonkar, P. M. (2019). Biogas generation from floral waste using different techniques. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 5(1), 17–30. https://doi.org/10.22034/gjesm.2019.01.02

Mahmoud, E., Starowicz, M., Ciska, E., Topolska, J., & Farouk, A. (2022). Determination of volatiles, antioxidant activity, and polyphenol content in the postharvest waste of *Ocimum basilicum* L. *Food Chemistry*, 375, Artículo 131692. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131692

Mieso, B., Befa, A., & Haile, T. (2022). Effect of drying methods and drying days on essential oil content and physicochemical properties of basil (*Ocimum basilicum*) varieties in Ethiopia. *Universal Journal of Food Science and Technology*, 10(1), 1–11.

Morshedy, S. M., Zweil, H. S., Zahran, S. M., Ahmed, M. H., & El-Mabrok, B. M. (2019). Growth performance, carcass traits, immune response and antioxidant status of growing rabbits supplemented with peppermint and basil essential oils. *Egyptian Poultry Science Journal*, 39(1), 61–79. https://doi.org/10.21608/epsj.2019.28805

Nazir, M., Tungmunnithum, D., Bose, S., Drouet, S., Garros, L., Giglioli-Guivarc'h, N., Abbasi, B. H., & Hano, C. (2019). Differential production of phenylpropanoid metabolites in callus cultures of *Ocimum basilicum* L. with distinct in vitro antioxidant activities and in vivo protective effects against UV stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67(7), 1847–1859. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b05647

Nugroho, C., Mirnia, E., & Cumagun, C. J. R. (2019). Antifungal activities of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) aqueous extract against *Sclerotium rolfsii*, causal agent of damping-off on tomato seedling. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 41(1), 115–123. https://doi.org/10.17503/agrivita.v41i1.1920

Orphanides, A., Goulas, V., & Gekas, V. (2016). Drying technologies: Vehicle to high-quality herbs. *Food Engineering Reviews*, 8(2), 164–180. https://doi.org/10.1007/s12393-015-9128-9

Purkiewicz, A., & Pietrzak-Fiećko, R. (2021). Antioxidant properties of fruit and vegetable whey beverages and fruit and vegetable mousses. *Molecules*, 26(11), Artículo 3126. https://doi.org/10.3390/molecules26113126

Rehan, T., MacEwan, D., Shah, N., Rehan, T., Tahira, R., Murad, S., Anees, M., Murtaza, I., Farman, M., Abid, O.-R., & Sultan, A. (2019). Apoptosis of leukemia cells by *Ocimum basilicum* fractions following TNF alpha induced activation of JNK and caspase 3. *Current Pharmaceutical Design*, 25(34), 3681–3691. https://doi.org/10.2174/1381612825666191011100826

Rocha, R. P., Melo, E. C., & Radünz, L. L. (2011). Influence of drying process on the quality of medicinal plants: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7076–7084.

Sani, Y. A., Cyril, O., Yahaya, Y., Hassan, U., & Ibrahim, L. S. (2018). Phytochemical screening, in vitro antibacterial and partial TLC purification of different solvents extracts of *Ocimum basilicum* L. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 5(2), 70–77. https://doi.org/10.30574/gscbps.2018.5.2.0127

Shakeri, F., Hosseini, M., & Ghorbani, A. (2019). Neuropharmacological effects of *Ocimum basilicum* and its constituents. *Physiology and Pharmacology*, 23(2), 70–81.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A., Jr. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158. https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144

Teerarak, M., Kerdpiboon, S., & Krusong, W. (2020). Comparison of vapor-phase acetic acid and vinegar effectiveness in maintaining quality of sweet basil (*Ocimum basilicum* Linn.). *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, 19(2), 53–64. https://doi.org/10.24326/asphc.2020.2.6

Torres, R. G., Casanova, L., Carvalho, J., Marcondes, M. C., Costa, S. S., Sola-Penna, M., & Zancan, P. (2018). *Ocimum basilicum* but not *Ocimum gratissimum* present cytotoxic effects on human breast cancer cell line MCF-7, inducing apoptosis and triggering mTOR/Akt/p70S6K pathway. *Journal of Bioenergetics and Biomembranes*, 50(2), 93–105. https://doi.org/10.1007/s10863-018-9742-1